

# 具有新判据的快速方向继电器

山东工业大学 李晓明

**摘要** 提高故障方向判别元件的动作速度和工作性能,对反应两侧电气量的方向保护有重要的意义。本文提出一种基于故障突变量的故障方向新判据,并进行了理论分析。分析表明,电力系统发生各种类型的对称和不对称短路,该判据都有明确方向性,且动作速度快。

**关键词** 方向继电器 故障分析

## 1 引言

快速性是电力系统继电保护的基本要求之一。在高压电网中,要求更高。故障方向判别元件的动作速度是影响方向高频保护动作速度的重要因素,为提高方向元件的动作速度和工作性能,不断有新原理、新技术相继在国内外发表。反应工频突变量与反应故障突变量的方向元件的理论研究与应用工作,近年来在我国取得进展<sup>〔1〕〔2〕〔3〕</sup>。显然,这类方向元件的抗干扰能力优于目前所见到的行波方向元件,而动作速度优于目前的常规方向元件。进一步提高方向判据的性能,仍然有许多工作要做。本文提出一种新的故障方向判据。该方向判据不仅可以适用短路时的工频突变量,而且短路暂态过程中的非工频分量也是适合的。从而使方向元件的性能有较大提高。

## 2 基本原理

本文提出的方向元件的动作判据比较量为:

$$U'_{\varphi z} = U_{\varphi} - (I_{\varphi} + 3K_L I_0) Z_{ZdL} + (I_{\varphi} + 3K_n I_0) Z_{Zdn} \quad (1)$$

$$U'_{\varphi f} = U_{\varphi} + (I_{\varphi} + 3K_m I_0) Z_{Zdm} \quad (2)$$

其中:下标字母 $\varphi$ 分别代表A、B、C三相; $U'_{\varphi z}$ 为正方向补偿电压; $U'_{\varphi f}$ 为反方向补偿电压; $U_{\varphi}$ 、 $I_{\varphi}$ 分别为保护安装处相电压与相电流; $K_m$ 、 $K_L^*$ 、 $K_n$ 为比例系数,如果电力系统如图1所示,则 $K_m = (Z_{m0} - Z_{m1}) / 3Z_{m1}$ ,  $K_L = (Z_{L0} - Z_{L1}) / 3Z_{L1}$ ,  $K_n = (Z_{n0} - Z_{n1}) / 3Z_{n1}$ ;  $Z_{Zdm}$ 、 $Z_{ZdL}$ 、 $Z_{Zdn}$ 为整定阻抗,一般整定 $Z_{Zdm} = Z_{m1}$ ,  $Z_{ZdL} = Z_{L1}$ ,  $Z_{Zdn} = Z_{n0}$ 。

方向元件动作判据表达式为:

$$\frac{|\Delta U'_{\varphi z}|}{|\Delta U'_{\varphi f}|} \geq K_{Zd} \quad (3)$$

其中  $\Delta U'_{\varphi z} = U'_{\varphi zt} - U'_{\varphi zc}$  (4)

$$\Delta U'_{\cdot f} = U'_{\cdot f1} - U'_{\cdot f2} \quad (5)$$

$U'_{\cdot z1}$ 表示 $U'_{\cdot z}$ 故障发生后的量值； $U'_{\cdot z2}$ 表示 $U'_{\cdot z}$ 故障发生前的量值； $\Delta U'_{\cdot z}$ 表示故障前后 $U'_{\cdot z}$ 的突变量；同理， $U'_{\cdot f1}$ 、 $U'_{\cdot f2}$ 表示故障前、后 $U'_{\cdot f}$ 的量值； $\Delta U'_{\cdot f}$ 表示故障前后 $U'_{\cdot f}$ 的突变量； $k_{zd}$ 为可整定的制动量，一般令 $k_{zd} = 1$ 。

当式(3)成立时，判断为正方向短路，方向元件动作。

下面分析该方向判据的工作原理。

电力系统如图1所示。短路发生前，从图1可得：

$$U'_{\cdot z1} = U_{\cdot} - I_{\cdot} Z_{ZL} - I_{\cdot} Z_{Zd1} = E_{\cdot n} \quad (6)$$

$$U'_{\cdot f1} = U_{\cdot} + I_{\cdot} Z_{Zd2} = E_{\cdot m} \quad (7)$$

当电力系统在 $D_1$ 点发生正方向短路时，可作出正、负、零序故障网络如图2所示。根据不同的短路类型，可连接成相应的故障复合网。但是，不论发生什么类型的短路，总有：

$$U'_{\cdot z1} \neq E_{\cdot n} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} U'_{\cdot f1} &= U_{\cdot} + (I_{\cdot} + 3K_m I_0) Z_{Zd2} \\ &= (U_1 + U_2 + U_0) + (I_1 Z_{m1} + I_2 Z_{m2} + I_0 Z_{m0}) \\ &= E_{\cdot m} \end{aligned}$$

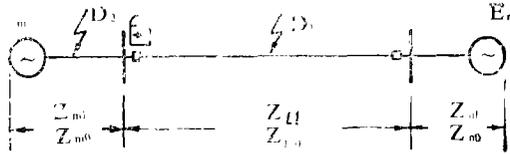


图1 电力系统示意图

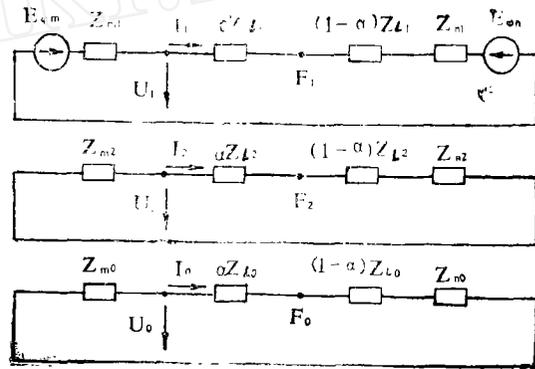


图2 正方向短路的故障序网

把式(6)、(8)代入式(4)；式(7)、(9)代入式(5)可得：

$$|\Delta U'_{\cdot z}| > 0$$

$$|\Delta U'_{\cdot f}| = 0$$

$$\text{因此 } \frac{|\Delta U'_{\cdot z}|}{|\Delta U'_{\cdot f}|} = \infty \quad (10)$$

式(3)成立，方向元件正确动作。

当电力系统在 $D_2$ 点发生反方向短路时，可作出正、负、零序故障网络如图3所示。根据不同的短路类型，可连接成相应的故障复合网。但是，不论发生什么类型的短路，总有：

$$\begin{aligned} U'_{\cdot z1} &= U_{\cdot} - (I_{\cdot} + 3K_m I_0) Z_{Zd1} - (I_{\cdot} + 3K_m I_0) Z_{Zd2} \\ &= (U_1 + U_2 + U_0) - (I_1 Z_{L1} + I_2 Z_{L2} + I_0 Z_{L0}) - (I_1 Z_{n1} + I_2 Z_{n2} + I_0 Z_{n0}) \\ &= E_{\cdot n} \end{aligned} \quad (11)$$

$$U'_{\cdot f1} \neq E_{\cdot m} \quad (12)$$

把式(6)、(11)代入式(4)；式(7)、(12)代入式(5)可得：

$$\begin{aligned} |\Delta U'_{\phi z}| &= 0 \\ |\Delta U'_{\phi f}| &> 0 \end{aligned}$$

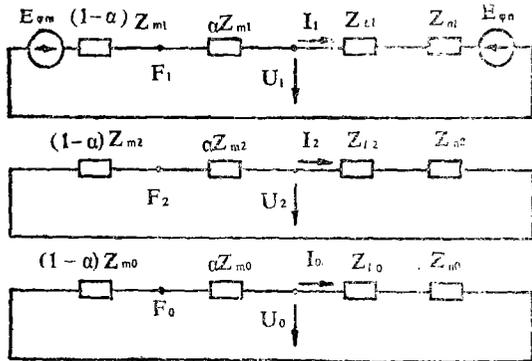


图3反方向短路的故障序网

$$\text{因此 } \frac{|\Delta U'_{\phi z}|}{|\Delta U'_{\phi f}|} = 0 \quad (13)$$

式(3)不成立,方向元件不动作,可见,该方向元件有明确的方向性。

以上分析是在 $Z_{Zd m} = Z_{m1}$ ,  $Z_{Zd n} = Z_{n1}$ 条件下进行的。通过这种特殊条件下的分析,使我们比较容易理解该方向判据工作原理的基本思路。后面将看到,在这种思路下,方向判据可以给出许多不同的形式,以适应各种场合的需要。

一般情况, $Z_{m1}$ 、 $Z_{n1}$ 随电力系统运行方式的变化而变化; $Z_{Zd m}$ 、 $Z_{Zd n}$ 经整定后,就相对固定不再随时变化;下面在 $Z_{Zd L} = Z_{L1}$ ,  $Z_{Zd m} \neq Z_{m1}$ ,  $Z_{Zd n} \neq Z_{n1}$ 条件下,分析方向元件的特性。

为分析问题方便,假设 $K_m = K_L = K_n$ 。当电力系统发生正方向短路时,从图2可得:

$$\Delta U_{\phi} = -\Delta I_f Z_{m1} \quad (14)$$

其中: $\Delta U_{\phi}$ 为故障前后 $U_{\phi}$ 的突变量; $\Delta I_f$ 为故障前后 $I_f$ 的突变量,且 $I_f = I_{f0} + 3K_L I_{f0}$ 。

考虑 $K_m = K_L = K_n$ 。式(4)与式(5)可写成如下形式:

$$\begin{aligned} \Delta U'_{\phi z} &= \Delta U_{\phi} - \Delta I_f (Z_{Zd L} + Z_{Zd n}) \\ &= -\Delta I_f (Z_{m1} + Z_{Zd L} + Z_{Zd n}) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \Delta U'_{\phi f} &= \Delta U_{\phi} + \Delta I_f Z_{Zd m} \\ &= \Delta I_f (Z_{Zd m} - Z_{m1}) \end{aligned} \quad (16)$$

因此

$$\frac{|\Delta U'_{\phi z}|}{|\Delta U'_{\phi f}|} = \frac{|Z_{m1} + Z_{Zd L} + Z_{Zd n}|}{|Z_{Zd m} - Z_{m1}|} \quad (17)$$

由于 $Z_{m1}$ 随电力系统进行方式变化而变化,所以式(17)的值也是变化的。只要 $Z_{m1}$ 远离 $Z_{Zd m}$ 不是太大,式(17)的值总是很大。

当电力系统发生反方向短路时,从图3可得:

$$\Delta U_{\phi} = \Delta I_f (Z_{L1} + Z_{n1}) \quad (18)$$

式(4)与式(5)可写成如下形式

$$\begin{aligned} \Delta U'_{\phi z} &= \Delta U_{\phi} - \Delta I_f (Z_{Zd L} + Z_{Zd n}) \\ &= \Delta I_f (Z_{n1} - Z_{Zd n}) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \Delta U'_{\phi f} &= \Delta U_{\phi} + \Delta I_f Z_{Zd m} \\ &= \Delta I_f (Z_{Zd m} + Z_{L1} + Z_{n1}) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{因此 } \frac{|\Delta U'_{\phi z}|}{|\Delta U'_{\phi f}|} = \frac{|Z_{n1} - Z_{Zd n}|}{|Z_{Zd m} + Z_{L1} + Z_{n1}|} \quad (21)$$

由于 $Z_{n1}$ 随电力系统运行方式的变化而变化,所以式(21)的值也是变化的。只要 $Z_{n1}$ 偏离 $Z_{zd}$ 不是太大,式(21)的值总是小于1;接近于零。

从式(17)与式(21)可以看出,这两者的值相差很大。这就为正确地、快速地区分短路点的方向创造了非常有利的条件。

式(17)与式(21)的推导过程,没有涉及短路类型、短路点位置的远近和短路处过渡电阻的大小。这说明, $|\Delta U'_{\varphi z}|/|\Delta U'_{\varphi f}|$ 的值与他们无关,仅仅与系统参数和短路方向有关。可见,不论正方向短路的具体状态如何,该方向判据都有同样高的灵敏度。当然这是理想情况。考虑任何实际装置必然有个精确度问题,该方向判据的动作灵敏度多少要受这些因素的影响。因为,尽管理论上 $|\Delta U'_{\varphi z}|/|\Delta U'_{\varphi f}|$ 的值不受这些因素的影响,但是, $|\Delta U'_{\varphi z}|$ 与 $|\Delta U'_{\varphi f}|$ 各自的大小却要受这些因素的影响。当 $|\Delta U'_{\varphi z}|$ 与 $|\Delta U'_{\varphi f}|$ 比较小时, $|\Delta U'_{\varphi z}|/|\Delta U'_{\varphi f}|$ 的值就有较大的误差。误差大到一定程度,方向判据就失灵了。精度的深入讨论,已超出本文范畴,不再赘述。

### 3 进一步讨论几个问题

3.1 在式(1)、(2)、(3)构成的方向判据中, $K_m$ 、 $K_L$ 、 $K_n$ 要受运行方式的影响。而且, $K_m$ 、 $K_L$ 、 $K_n$ 给方向元件的实现增添了麻烦。因此,在实际应用时,建议用下面改进的方向判据。

根据式(1)与式(2),可得 $U'_{az}$ 、 $U'_{bz}$ 、 $U'_{cz}$ 、 $U'_{af}$ 、 $U'_{bf}$ 、 $U'_{cf}$  6个补偿电压。令

$$\begin{aligned} U'_{bz} &= U'_{az} - U'_{bz} \\ U'_{bf} &= U'_{af} - U'_{bf} \\ \text{则 } \begin{cases} U'_{bz} = U'_{ab} - (I_a - I_b)Z_{dz} \\ U'_{bf} = U'_{ab} + (I_a - I_b)Z_{dm} \end{cases} \end{aligned} \quad (22)$$

其中: $Z_{dz} = Z_{dL} + Z_{dn}$

同理可得 $U'_{bz}$ 、 $U'_{cf}$ 、 $U'_{az}$ 、 $U'_{af}$ 。

把三个方向判据合并成一个,得到如下形式:

$$\frac{|\Delta U'_{bz}| + |\Delta U'_{cz}| + |\Delta U'_{az}|}{|\Delta U'_{bf}| + |\Delta U'_{cf}| + |\Delta U'_{af}|} \geq k_{zd} \quad (23)$$

当式(23)成立时,判断为正方向短路,方向元件动作。

3.2 下面提供一种不需要专门提取突变量,反应各种不对称短路的方向判据。

动作判据比较量为

$$\begin{cases} U'_{2z} = U_2 - I_2 Z_{dz} \\ U'_{2f} = U_2 + I_2 Z_{dm} \end{cases} \quad (24)$$

其中: $U'_{2z}$ 与 $U'_{2f}$ 分别为正方向与反方向负序补偿电压; $U_2$ 与 $I_2$ 分别为保护安装处负序电压与电流; $Z_{dz}$ 与 $Z_{dm}$ 同式(22)。

动作判据表达式为

$$\frac{|U'_{2z}|}{|U'_{2f}|} \geq k_{zd} \quad (25)$$

当式(25)成立时,判断为正方向短路,方向元件动作。

各种不对称短路都有负序分量。式(24)与式(25)只有负序分量。只要对图2与图3中的

负序网络进行分析,就可获得正方向短路时负序电压分布如图4(b)所示。从图4可以看出,式(25)能够正确地判别出短路方向。

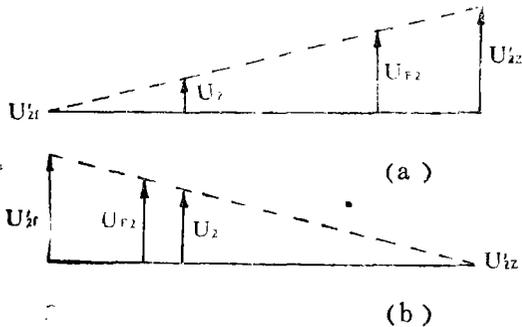


图4 负序电压分布图

(a) 正方向短路 (b) 反方向短路

如果把以往的负序方向元件的动作判据与式(24)、(25)作比较,可知,他们仅仅在 $Z_{r2z}$ 与 $Z_{z2r}$ 的选取上不一致。正是这点不同,使得本判据的动作性能优于以往的负序方向元件。

3.3 式(1)、(2)中的整定阻抗 $Z_{r2z}$ 、 $Z_{z2L}$ 、 $Z_{z2r}$ 的特性应尽可能与实际

电力系统中的阻抗 $Z_{m1}$ 、 $Z_{L1}$ 、 $Z_{n1}$ 的特性相一致。如果他们的频率特性、非线性特性及其他特性都相同,则短路时,电流与电压中的各种非工频分量也满足由式(1)、(2)、(3)所描述的方向判据。当然此时,式(1)、(2)、(3)应采用相应的微分方程形式来描述。因此,如果 $Z_{r2z}$ 、 $Z_{z2L}$ 、 $Z_{z2r}$ 设计合理的话,电路中可以不设滤波环节;为了某种目的,也可以在电路中加滤波环节,滤除短路电流与电压中的部份或全部非工频分量。这也是本方向元件能够达到动作速度与动作可靠性两者都很高的原因之一。

#### 4 结论

本文提出的方向判据原理简单;具有明确方向性;灵敏度高,动作速度快。

#### 参 考 文 献

- [1] 王安定、葛耀中. 反应正序故障分量的方向元件及其计算机仿真. 中国电机工程学报. 第6卷第5期, 1986年9月.
- [2] 沈国荣等. 超高速方向保护JKF-1. 电力系统自动化. 1987年第3期.
- [3] 熊小伏、叶一麟. 超高速微机方向保护原理. 电力系统自动化. 1989年第2期.
- [4] 沈国荣. 工频变化量距离继电器研究. 中国电机工程学会第四次继电保护及安全自动装置学术会议论文. 1986年10月.